

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-354411

(43) 公開日 平成11年(1999)12月24日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	F I	
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 0 2 V
G 0 1 M 11/02		G 0 1 M 11/02	A
G 0 3 F 1/08		G 0 3 F 1/08	A
	7/20		5 2 1
		H 0 1 L 21/30	5 2 8
	5 2 1	審査請求 有	請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-161208

(22) 出願日 平成10年(1998)6月9日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 安里 直生

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 石田 伸二

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

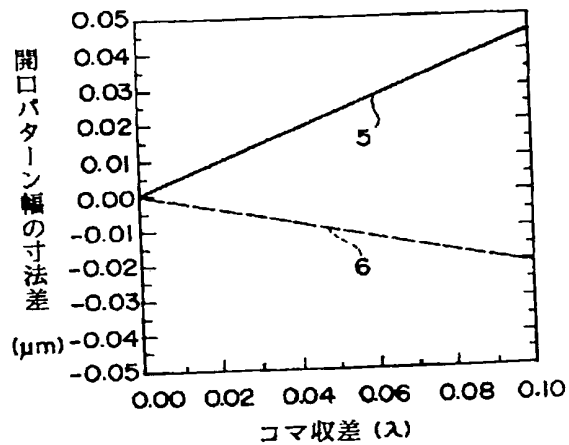
(74) 代理人 弁理士 藤巻 正憲

(54) 【発明の名称】 露光装置の評価方法

(57) 【要約】

【課題】 露光装置におけるコマ収差を高精度で容易に測定することができる露光装置の評価方法を提供する。

【解決手段】 先ず、コマ収差と、2本の開口部を透過した透過光により形成される開口パターンの寸法差との関係を予め求めておく。次に、評価用マスクを評価対象の露光装置に設置し、この露光装置を使用して、表面に感光性樹脂膜が形成された基板の表面を露光する。その後、基板の表面の感光性樹脂膜を現像することにより、2本の開口部を透過した光により形成された開口パターンを得る。その後、得られた2本の開口パターンについて、その幅を測定し、寸法差を算出する。その後、予め求められたコマ収差と寸法差との関係に基づいて、実際に測定した寸法差からレンズ（光学系）のコマ収差を求める。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の露光用光と、前記第1の露光用光に対して180°の位相差を有する第2の露光用光とを、露光装置の光学系を介して試験板の表面に形成された感光性樹脂膜に照射する工程と、前記感光性樹脂膜を現像して前記第1の露光用光により露光された第1パターンと、前記第2の露光用光により露光され前記第1パターンから所定方向に離間して形成された第2パターンを得る工程と、前記第1パターンの前記所定方向における幅と前記第2パターンの前記所定方向における幅との差を測定し、この差に基づいて前記光学系のコマ収差を求める工程と、を有することを特徴とする露光装置の評価方法。

【請求項2】 前記第1及び第2の露光用光は、透明基板と、前記透明基板上に形成された遮光膜と、前記遮光膜に選択的に設けられた第1の開口部及び第2の開口部と、前記第1の開口部及び第2の開口部のいずれか一方を覆う透明膜と、を有する位相シフトマスクに入射光を透過させることにより得られるものであることを特徴とする請求項1に記載の露光装置の評価方法。

【請求項3】 前記入射光は前記位相シフトマスクに対して直交する方向に透過させることを特徴とする請求項2に記載の露光装置の評価方法。

【請求項4】 前記第1及び第2の露光用光は、透明基板と、前記透明基板上に形成された遮光膜と、前記遮光膜に選択的に設けられた第1の開口部及び第2の開口部と、を有するマスクに斜入射光を透過させることにより得られるものであることを特徴とする請求項1に記載の露光装置の評価方法。

【請求項5】 前記斜入射光は輪帯照明から発するものであることを特徴とする請求項4に記載の露光装置の評価方法。

【請求項6】 3以上の露光用光が配列され、隣り合う露光用光の位相が互いに180°異なると共に最も外側に位置する第1の露光用光と第2の露光用光とが同位相である露光用光群を、露光装置の光学系を介して試験板の表面に形成された感光性樹脂膜に照射する工程と、前記感光性樹脂膜を現像して前記第1の露光用光により露光された第1パターンと、前記第2の露光用光により露光され前記第1パターンから所定方向に離間して形成された第2パターンを得る工程と、前記第1パターンの前記所定方向における幅と前記第2パターンの前記所定方向における幅との差を測定し、この差に基づいて前記光学系のコマ収差を求める工程と、を有することを特徴とする露光装置の評価方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体装置の製造工程における光リソグラフィ工程に使用される露光装置の評価方法に関し、特に、露光装置のコマ収差を高精度で

測定することができる露光装置の評価方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、光リソグラフィの限界延長を目的として、位相シフトマスクの開発が進められている。位相シフトマスクとは、マスク透過光（反射型のマスクにおいてはマスク反射光）の一部分の位相を180°変化させるマスクである。

【0003】図15は渋谷-レベンソン方式位相シフトマスクを示す断面図である。なお、渋谷-レベンソン方式とは発明者の名前であり、Alternating Phase Shift Maskともいう。図15に示すように、合成石英等からなる透明基板21の片面上に、クロム等の遮光材料からなる遮光膜22が選択的に形成されており、これにより、透明領域23aと遮光領域23bとが交互に形成されている。また、隣り合う透明領域23aのうち一方の透明領域23aを覆う領域には、CVDSiO₂、スパッタSiO₂又はSOG (Spin On Glass) からなる透明膜24が形成されている。なお、波長λである露光用光の透明膜24に対する屈折率をnとしたとき、透明膜24の膜厚tを $t = \lambda / \{2(n-1)\}$ としている。

【0004】このように構成された位相シフトマスクにおいては、透明膜24が形成された領域を透過した透過光と、透明膜24が形成されていない領域を透過した透過光との間に、180°の位相差を発生させる。従って、互いに180°異なる位相を有する隣り合う透過光同士が干渉することにより、マスク転写像のコントラストを向上させることができる。このように、位相シフトマスクは解像度及び焦点深度の改善に有効であるしかし、位相シフトマスクは投影レンズの収差の影響を著しく受けやすく、特に、渋谷-レベンソン方式位相マスクを使用した露光において、コマ収差によりパターンが非対称に変形することは公知である。従って、近時、露光装置の収差、特に、コマ収差の正確な測定及び管理が必要になっている。

【0005】ところで、レンズの収差は、装置メーカーの製造ラインにおいて完全に調整されている。そして、露光装置を半導体装置の製造ラインに設置した後も、レンズの収差が再確認されており、異常が確認されると、その場で微調整される。

【0006】コマ収差の測定方法としては、投影レンズのコマ収差を再現性良く容易に測定することができる方法が開示されている（特開平5-118957号公報）。この測定方法は、投影レンズを介して得られる所望のレチクルパターンの空間像の強度分布を直接計測する方法である。即ち、開口パターンの転写像においては、その振幅分布において、光の振動が0に収束する際には、0を通り越して負（逆位相）及び正の方向に振動しながら収束することにより、メインピークの左右にサブピークが発生する。そして、所定方向（Y方向）に延びる開口部（透明領域）を透過する光強度分布におい

て、Y方向に直交するX方向にコマ収差が存在すると、左右のサブピークの高さが異なったものとなる。そこで、サブピークの高さの差(強度差)を測定することにより、コマ収差を求めることができる。

【0007】他に、ハーフトーン位相マスクを使用したコマ収差測定方法が開示されている(特開平9-257646号公報)。透過強度がTであるハーフトーン位相マスクにおいては、結像面での光の振幅は、ハーフトーン部で $-\sqrt{T}$ となり、オーバーシュートもこの $-\sqrt{T}$ を中心に振動する。従って、メインパターン隣の第1のオーバーシュート部においては、光強度の値が小さくならず、サイドローブといわれるサブピークを発生させる。そして、コマ収差によりサイドローブに大きな強度差が発生するので、この強度差を測定することによりコマ収差を求めることができる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開平5-118957号公報に記載された方法においては、メインピークの左右に発生するサブピークは、0をベースとして振動するので、振動の2乗で与えられる光強度としては極めて小さい値となる。従って、光強度の差に基づいてコマ収差を求めても、その測定誤差が大きくなる。

【0009】また、特開平9-257646号公報に記載された方法を使用すると、通常のマスクを使用する場合よりも容易に高精度でコマ収差を求めることができるが、要求されるコマ収差の測定精度を満足することはできない。

【0010】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであって、露光装置におけるコマ収差を高精度で容易に測定することができる露光装置の評価方法を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明に係る露光装置の評価方法は、第1の露光用光と、前記第1の露光用光に対して 180° の位相差を有する第2の露光用光とを、露光装置の光学系を介して試験板の表面に形成された感光性樹脂膜に照射する工程と、前記感光性樹脂膜を現像して前記第1の露光用光により露光された第1パターンと、前記第2の露光用光により露光された前記第1パターンから所定の方向に離間して形成された第2パターンを得る工程と、前記第1パターンの前記所定の方向における幅と前記第2パターンの前記所定の方向における幅との差を測定し、この差に基づいて前記光学系のコマ収差を求める工程と、を有することを特徴とする。

【0012】前記第1及び第2の露光用光は、透明基板と、前記透明基板上に形成された遮光膜と、前記遮光膜に選択的に設けられた第1の開口部及び第2の開口部と、前記第1の開口部及び第2の開口部のいずれか1方を覆う透明膜と、を有する位相シフトマスクに入射光を

透過させることにより得られるものとして行うことができる。また、前記入射光は前記位相シフトマスクに対して直交する方向に透過させることが好ましい。

【0013】更に、前記第1及び第2の露光用光は、透明基板と、前記透明基板上に形成された遮光膜と、前記遮光膜に選択的に設けられた第1の開口部及び第2の開口部と、を有するマスクに斜入射光を透過させることにより得られるものであってもよく、前記斜入射光は輪帯照明から発するものであることが好ましい。

【0014】本発明に係る他の露光装置の評価方法は、3以上の露光用光が配列され、隣り合う露光用光の位相が互いに 180° 異なると共に最も外側に位置する第1の露光用光と第2の露光用光とが同位相である露光用光群を、露光装置の光学系を介して試験板の表面に形成された感光性樹脂膜に照射する工程と、前記感光性樹脂膜を現像して前記第1の露光用光により露光された第1パターンと、前記第2の露光用光により露光された前記第1パターンから所定の方向に離間して形成された第2パターンを得る工程と、前記第1パターンの前記所定の方向における幅と前記第2パターンの前記所定の方向における幅との差を測定し、この差に基づいて前記光学系のコマ収差を求める工程と、を有することを特徴とする。

【0015】本願発明の第1発明においては、互いに 180° 異なる位相を有する第1の露光用光と第2の露光用光とを露光装置の光学系を介して感光性樹脂膜に照射し、これを現像することにより第1のパターン及び第2のパターンを得る。そして、第1のパターン及び第2のパターンの幅の寸法差(実測値)を測定し、予め求められたコマ収差と寸法差(理論値)との関係に基づいて、実際に測定した寸法差から光学系のコマ収差を求める。

【0016】このように、 180° 異なる位相を有する1組の露光用光を使用して感光性樹脂膜を露光すると、同一位相を有する1組の露光用光を使用した場合と比較して、光の強度差が大きくなるので、得られるパターン幅の寸法差は約2倍となる。即ち、微小なコマ収差が存在する場合であっても、パターン幅の寸法差が顕著に現れる。従って、実測した寸法差に基づいてコマ収差を求めることにより、同一位相を有する1組の露光用光を使用した場合と比較して、極めて高い測定精度を得ることができる。

【0017】なお、3以上の露光用光が配列されている場合には、隣り合う露光用光の位相差が 180° からずれると、焦点位置が変化して、感光性樹脂膜に形成される隣り合うパターンに寸法差が発生するので、寸法差に基づいて求められるコマ収差に誤差が生じることになる。しかし、本願発明の第2発明においては、3以上の露光用光のうち、最も外側に位置する露光用光を同位相として、最も外側の露光用光により露光された第1及び第2パターンの寸法差に基づいて、コマ収差を求める。これにより位相エラーがコマ収差に影響しないようにす

ることができ、第1発明と同様に、高精度で容易にコマ収差を求めることができる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例に係る露光装置の評価方法について、添付の図面を参照して具体的に説明する。図1(a)は本発明の第1の実施例に係る露光装置の評価方法において使用されるコマ収差測定用マスクの一部を示す平面図であり、図1(b)は図1(a)のA-A線に沿う方向の断面図である。但し、図1(a)においては、透明膜等が形成された面を上面として図示している。

【0019】図1(a)及び図1(b)に示すように、透明基板1の片面上に遮光膜2が形成されている。遮光膜2には透明基板1の一方の端面から対向する端面に至る方向(Y方向)に延びる2本の開口部2a及び2bが設けられている。また、一方の開口部2bを覆う領域には、位相シフトとしてSOG(Silicon On Glass)からなる透明膜3が形成されている。このようにして、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスク4が構成されている。

【0020】なお、本実施例においては、開口部2a及び2bの幅及び隣り合う開口部2aと開口部2bとの間における遮光膜2の幅は、夫々 $1.25\mu\text{m}$ としている。従って、縮小率が5倍である露光装置においては、結像面上では夫々 $0.25\mu\text{m}$ となる。また、KrFエキシマレーザ光(波長 $\lambda: 248\text{nm}$)に対するSOG膜の屈折率 n は 1.48 であるので、波長 λ 及びSOG膜の屈折率 n を数式 $t = \lambda / \{2(n-1)\}$ に代入してSOG膜の膜厚 t を算出すると、 $t = 248 / \{2(1.48-1)\} = 258$ となる。従って、SOG膜(透明膜3)の膜厚を 258nm とすることにより、開口部2aを透過する透過光と、開口部2bを透過する透過光との間に 180° の位相差を発生させている。

【0021】次に、本発明の第1の実施例に係る露光装置の評価方法について説明する。まず、コマ収差と、図1に示すマスク4の開口部2a及び2bを透過した透過光により露光されその後の現像により得られる開口パターン寸法差との関係を予め求めておく。この寸法差は、スレッショルドモデル(Threshold model)を使用して、即ち、所定の光強度 I_{th} 以上の強度を有する光が照射された領域の感光性樹脂膜が現像により溶出し、光強度 I_{th} 未満の強度を有する光が照射された領域の感光性樹脂膜が残存すると仮定する条件で、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスク4を透過する光強度分布のシュミレーション結果により求めることができる。

【0022】このコマ収差と寸法差との関係は、例えば、以下に示すようになる。図2は縦軸に感光性樹脂膜に形成された隣り合う開口パターン幅の寸法差(開口部2bを透過する光により得られる開口パターンの幅-開口部2aを透過する光により得られる開口パターンの

幅)をとり、横軸に光強度分布シュミレーションにより求めたX方向コマ収差をとって、寸法差とコマ収差との関係を示すグラフ図である。なお、図2において、実線5は渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスク4を使用した場合に得られるコマ収差と寸法差との関係を示し、破線6は通常の2本の開口部を有するマスクを使用した場合に得られるコマ収差と寸法差との関係を示している。また、スレッショルドモデルの光強度 I_{th} としては、コマ収差が0である場合に開口パターンの幅が設計通りに $0.25\mu\text{m}$ となるような光強度としている。

【0023】次に、本評価用マスクを評価対象の露光装置に設置し、この露光装置を使用して、表面に感光性樹脂膜が形成された基板の表面を露光する。但し、図1(a)及び図1(b)に示すマスクを使用すると、開口部2a及び2bが延びる方向(Y方向)に直交するX方向のみのコマ収差が測定される。しかし、露光装置の評価においては、露光領域内の同一箇所において、X方向とY方向との2方向の収差を測定する必要がある。従って、本評価用マスクとしては、Y方向に延びる2本の開口部とX方向に延びる2本の開口部とからなる1組の測定パターンが、所望の位置(収差測定箇所)に 10nm の寸法精度で設けられたマスクを使用する。

【0024】その後、基板の表面の感光性樹脂膜を現像することにより、マスクのY方向に延びる開口部を透過した光により形成されたY方向開口パターン、及びマスクのX方向に延びる開口部を透過した光により形成されたX方向開口パターンを得る。その後、得られたY方向開口パターンについて、X方向に隣り合う2本のパターンの幅(X方向長さ)を測定し、その寸法差を算出すると共に、X方向パターンについて、Y方向に隣り合う2本のパターンの幅(Y方向長さ)を測定し、その寸法差を算出する。

【0025】その後、図2に示すように予め求められたコマ収差と寸法差との関係に基づいて、実際に測定した寸法差からレンズ(光学系)のコマ収差を求める。このようにして、評価対象の露光装置による露光領域の各点について、コマ収差を測定することができる。

【0026】なお、例えば1辺が 22mm である露光領域の各位置におけるコマ収差を測定する場合に、 2mm 間隔で測定するとすると、 $11 \times 11 = 121$ (箇所)の測定点についてX方向及びY方向の2方向で、走査型電子顕微鏡(SEM)により測定する必要がある。従って、従来においては、コマ収差を測定するために極めて多数の工程が必要であった。しかし、近時、半導体製造ラインにおいて寸法管理用に使用されているCD-SEMによると、半導体基板上のアライメントマーク及び測定パターンの画像を記録し、作業者が立ち会うことなく全ての測定点について自動でデータを収集することができるようになっている。従って、本実施例に示すように、実際に現像された開口パターンの寸法を測定する方

法を使用することにより、極めて容易に露光装置を評価することができる。

【0027】また、図2に示すように、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを使用して寸法差とコマ収差との関係を求めた場合、通常のマスクを使用した場合と比較して、約2倍の寸法差を得ることができる。即ち、コマ収差が0.10λである場合に、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを使用すると、得られる開口パターン幅の寸法差は0.045μmとなるのに対して、通常のマスクを使用すると得られる開口パターン幅の寸法差(絶対値)は約0.02μmとなる。本実施例においては、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを使用して、寸法差からコマ収差を得るので、通常のマスクを使用した場合と比較して、より一層高精度で収差を求めることができる。

【0028】位相シフトマスクを使用した場合に、通常のマスクを使用した場合と比較して、高精度にコマ収差を求めることができる理由について、以下に、更に詳細に説明する。図3(a)は1本の開口部を有するマスクを示す断面図であり、図3(b)は縦軸に1本の開口部を有するマスクを透過した光の振幅をとり、横軸に位置をとって、光の振幅と位置との関係を示すグラフ図である。また、図4(a)は2本の開口部を有するマスクを示す断面図であり、図4(b)は縦軸に2本の開口部を有するマスクを透過した光の振幅をとり、横軸に位置をとって、光の振幅と位置との関係を示すグラフ図である。更に、図5(a)は渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを示す断面図であり、図5(b)は縦軸に渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを透過した光の振幅をとり、横軸に位置をとって、光の振幅と位置との関係を示すグラフ図である。

【0029】図3(a)及び図3(b)に示すように、透明基板31の片面上に遮光膜32が形成され、この遮光膜32に所定方向(Y方向)に延びる1本の開口部32aが形成されたマスク34aを使用した場合に、Y方向に直交するX方向にコマ収差が存在すると、Y方向に延びる開口部32aの両側方における振幅のオーバーシュート大きさが互いに異なったものとなる。但し、この振幅のオーバーシュートは0近傍のものであり、その2乗で表される光強度としては、極めて小さくなる。図3(a)に示すマスクを使用した場合に、開口部32aの左右のオーバーシュート部における振幅を、夫々 a 、 $-b$ とすると、開口部32aの左右における光強度の差 ΔI_a は下記数式1により表される。

【0030】

$$\text{【数1】 } \Delta I_a = b^2 - a^2$$

【0031】また、図4(a)及び図4(b)に示すように、遮光膜32にY方向に延びる2本の開口部32b及び32cが設けられたマスク34bを使用した場合には、一方の開口部32bのオーバーシュートは、他方の

開口部32cのメインのピークに重なり、他方の開口部32cにおけるオーバーシュートは開口部32bのメインのピークに重なる。従って、メインのピークの大きさを c として、開口部の左右におけるオーバーシュートの差から、開口部32bを介して透過する光と開口部32cを介して透過する光との光強度差を算出すると、この光強度の差 ΔI_b は下記数式2により表される。

【0032】

【数2】

$$\begin{aligned} \Delta I_b &= (c-a)^2 - (c-b)^2 \\ &= 2(b-a)c + a^2 - b^2 \\ &= (a-b)(2c-a-b) \end{aligned}$$

【0033】一方、図5(a)及び図5(b)に示すように、透明基板1の片面上にY方向に延びる2本の開口部2a及び2bが設けられた遮光膜2が形成され、開口部2bを覆う領域に透明膜3が形成された渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスク4を使用した場合には、開口部2bを介して透明基板1と透明膜3を透過する光は、開口部2aを介して透明基板1のみを透過する光に対して、位相が180°反転している。従って、開口部2aを介して透過する光と開口部2bを介して透過する光との光強度差を算出すると、この光強度の差 ΔI_c は下記数式3により表される。

【0034】

【数3】

$$\begin{aligned} \Delta I_c &= (c+b)^2 - (c+a)^2 \\ &= 2(b-a)c + b^2 - a^2 \\ &= (b-a)(2c+a+b) \end{aligned}$$

【0035】上記数式1乃至3に示すように、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを使用すると、通常のマスクを使用した場合と比較して、光強度差が大きくなることが示される。

【0036】次に、図4(a)に示す2本の開口部を有するマスク34bと、図5(a)に示す渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスク4とについて、開口部を介して透過する光の強度をシュミレーションした場合について説明する。図6及び図7は縦軸に相対光強度をとり、横軸に位置をとって、光強度と位置との関係を示すグラフ図である。但し、図6は2本の開口部を有するマスク34bを使用した場合、図7は渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスク4を使用した場合について示し、2本の開口部の幅は夫々結像面上で0.25μmとなる幅としている。また、図6及び7において、横軸の0nmの位置はマスクの遮光膜に設けられた2本の開口部の中心に対応し、縦軸の相対光強度は、十分に広い透明領域を透過する光の強度を1として規格化した値である。なお、図中で、実線7はレンズのコマ収差を0λとした場合、1点鎖線8はコマ収差を0.05λとした場合を示し、破線9はコマ収差を0.1λとした場合を示す。

【0037】図6及び7に示すように、いずれのマスク

を使用した場合においても、コマ収差により、2本の開口部を介して透過する光の強度には差が生じているが、特に、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを使用すると、コマ収差による光強度分布の変化が大きくなっている。

【0038】このように、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを使用すると、レンズのコマ収差によって2本の開口部を介して透過する光の強度差が大きくなるので、図2に示すように、透過光が基板上の感光性樹脂膜に照射されて現像されることにより得られる2本の開口パターン幅の差が、通常のマスクよりも大きくなる。従って、図2に示す寸法差とコマ収差との関係に基づいて、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを使用して得られた2本の開口パターン幅の寸法差からレンズのコマ収差を求める本実施例方法は、通常のマスクを使用する場合と比較して高精度でコマ収差を求めることができる。

【0039】例えば、CD-SEMの測定で、2本の開口パターン幅の寸法差に5nmの誤差があるとして、通常のマスクを使用した場合には、5nmの寸法差は0.026λのコマ収差に相当するが、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを使用した場合には、5nmの寸法差は0.011λのコマ収差に相当する。これは、本実施例によると、5nmの測定誤差が発生した場合においても、コマ収差のずれが極めて小さいことを示している。

【0040】なお、本発明において使用するマスクとしては、互いに180°異なる位相を有する1組の露光用光が得られるマスクであれば、その構造は特に限定するものではなく、第1の実施例と同様の方法により、高精度でコマ収差を求めることができる。

【0041】図8(a)は本発明の第2の実施例に係る露光装置の評価方法において使用されるコマ収差測定用マスクの一部を示す平面図であり、図8(b)は図8(a)のB-B線に沿う方向の断面図である。但し、図8(a)においては、透明膜等が形成された面を上面として図示している。

【0042】図8(a)及び図8(b)に示すように、透明基板11の片面上に遮光膜12が形成されている。遮光膜12には透明基板11の一方の端面から対向する端面に至る方向(Y方向)に延びる3本の開口部12a、12b及び12cが設けられている。また、中央の開口部12bを覆う領域には、位相シフトとして透明膜13が形成されている。

【0043】このように構成された渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスク14を使用しても、第1の実施例と同様の方法でレンズのコマ収差を求めることができる。但し、このように3本以上の開口部を有する位相シフトマスクを使用した場合には、位相差が180°からずれると、焦点位置が変化して位相が異なる隣り合う開口パ

ターンの寸法差が発生する。従って、位相エラーが発生すると、位相差が0°である開口部と位相差が180°である開口部との間で寸法差が発生するので、寸法差に基づいて求められるコマ収差に誤差が生じることになる。

【0044】そこで、第2の実施例においては、マスク上の遮光膜に設けられた最も外側に存在する2本の開口部を透過する光を同位相として、この2本の開口部を透過する光により得られる開口パターン幅の寸法差に基づいて、コマ収差を求める。これにより位相エラーがコマ収差に影響しないようにすることができ、第1の実施例と同様に、高精度で容易にコマ収差を求めることができる。なお、3本を超える開口部を有するマスクを使用した場合であっても同様に、最も外側に存在する2本の開口部を透過する光を同位相として、この最も外側における2本の開口部を透過する光により得られる開口パターン幅の寸法差を測定することにより、高精度でコマ収差を求めることができる。

【0045】なお、パターン寸法が微細化されるほど、2本の開口部を介して透過する光により得られる開口パターン幅の寸法差は大きくなる。従って、結像面上において解像限界に近い寸法、即ち、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクにおいては、約0.13μmの幅を有する開口パターンが得られるマスクを使用することが原理的には好ましい。しかし、開口パターンが解像限界に近いと、感光性樹脂膜の形状が劣化して、エッジラフネスの悪化及び裾引き現象が生じるので、実際には、解像限界度の約1.5乃至2.5倍の幅を有する開口パターンが得られるマスクを使用することが好ましい。

【0046】図9は本発明の第3の実施例に係る露光装置の評価方法を示す断面図である。また、図10(a)は本発明の第3の実施例に係る露光装置の評価方法において使用されるコマ収差測定用マスクの一部を示す平面図であり、図10(b)は図10(a)のC-C線に沿う方向の断面図である。但し、図10(a)においては、遮光膜が形成された面を上面として図示している。

【0047】図10(a)及び図10(b)に示すように、透明基板16の片面上に遮光膜17が形成されている。遮光膜17には透明基板16の一方の端面から対向する端面に至る方向(Y方向)に延びる2本の開口部17a及び17bが設けられている。

【0048】第3の実施例においては、図9に示すように、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクの代わりに、2本の開口部が設けられた遮光膜17を有するマスク19を介して、斜入射照明(off-axis illumination)条件で感光性樹脂膜を露光する。このように、変形照明ともいわれる斜入射照明により、マスク19に直交する方向に対して斜めの方向から光10を入射させる超解像手法を利用すると、位相シフトを使用することなく2本の開口部17a及び17bを介して透明基板16を

透過した光に位相差が生じる。従って、斜入射照明の条件に合わせて、開口部17aと開口部17bとの間の寸法を最適化し、開口部17aを介して透過した光10aと開口部17bを介して透過した光10bとの間に180°の位相差を生じさせると、渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを使用した第1及び第2の実施例と同様に、高精度でコマ収差を求めることができる。

【0049】なお、入射光の入射角度（マスクに直交する方向とマスクに入射する光10とがなす角）を θ （°）とし、入射光の波長を λ （ μm ）とすると、Siの透過光10aと透過光10との間の位相差を180°とするための開口部間のピッチP（ μm ）は下記数式4により表される。

【0050】

【数4】 $P = \lambda / (2 \sin \theta)$

【0051】但し、実際の斜入射照明を使用した場合には、入射光の入射角度 θ は1点ではなくある範囲を有しているため、最小入射角度を θ_{\min} 、最大入射角度を θ_{\max} とすると、マスクの遮光膜に設ける開口部間の適切なピッチP（ μm ）は下記数式5により表される。

【0052】

【数5】 $\lambda / (2 \sin \theta_{\max}) < P < \lambda / (2 \sin \theta_{\min})$

【0053】図11乃至図13は、縦軸に相対光強度をとり、横軸に位置をとって、相対光強度と位置との関係を示すグラフ図である。但し、図11乃至図13は、2本の開口部17a及び17bの幅を夫々0.25 μm 、開口部間の距離を0.25 μm とした図10に示すマスク19と、レンズが集光する能力に対応する開口数NAが0.5であるレンズとを使用した場合について示している。また、図11乃至図13において、横軸の0nmの位置は2本の開口部17aと開口部17bとの間の中心に対応している。更に、図11は光中央の σ の0.3相当分を遮光し、 σ が0.5-0.8である輪帯照明を使用した場合、図12は光中央の σ の0.5相当分を遮光し、 σ が0.3-0.75である輪帯照明を使用した場合を示し、図13は σ が0.8である通常照明を使用した場合について示している。なお、図中で、実線7はレンズのコマ収差を0 λ とした場合、1点鎖線8はコマ収差を0.05 λ とした場合を示し、破線9はコマ収差を0.1 λ とした場合を示す。

【0054】図14は縦軸に感光性樹脂膜に形成された隣り合う開口パターン幅の寸法差をとり、横軸に光強度分布シュミレーションにより求めたコマ収差をとって、寸法差とコマ収差との関係を示すグラフ図である。図14中において、実線20a、1点鎖線20b及び破線20cは、夫々、図11、図12及び図13において与えられた条件での寸法差とコマ収差との関係を示している。図11乃至図14に示すように、輪帯照明を使用し、中央の遮光率を高くするほど、コマ収差による光強

度分布の変化が大きくなっている。即ち、中央の遮光率がより一層高い輪帯照明を使用して露光装置により露光すると、コマ収差によって得られる感光性樹脂膜の開口パターン幅の寸法差が大きくなるので、寸法差からコマ収差を求める場合の測定精度を向上させることができる。

【0055】なお、本発明方法は、紫外線露光装置のみではなく、等倍又は縮小のX線露光装置等に対しても、同様に使用することができる。

【0056】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、180°異なる位相を有する1組の露光用光、又は3以上の露光用光のうち、最も外側に位置する露光用光を同位相とすると共に、隣り合う露光用光が全て互いに180°異なる露光用光群を使用して感光性樹脂膜を露光するので、露光装置の光学系を透過した後の光の強度差が大きくなる。従って、実測した寸法差に基づいてコマ収差を求めることにより、極めて高い測定精度を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は本発明の第1の実施例に係る露光装置の評価方法において使用されるコマ収差測定用マスクの一部を示す平面図であり、(b)は(a)のA-A線に沿う方向の断面図である。

【図2】縦軸に開口パターン幅の寸法差をとり、横軸にコマ収差をとって、寸法差とコマ収差との関係を示すグラフ図である。

【図3】(a)は1本の開口部を有するマスクを示す断面図であり、(b)は縦軸に振幅をとり、横軸に位置をとって、光の振幅と位置との関係を示すグラフ図である。

【図4】(a)は2本の開口部を有するマスクを示す断面図であり、(b)は縦軸に振幅をとり、横軸に位置をとって、光の振幅と位置との関係を示すグラフ図である。

【図5】(a)は渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを示す断面図であり、(b)は縦軸に振幅をとり、横軸に位置をとって、光の振幅と位置との関係を示すグラフ図である。

【図6】縦軸に相対光強度をとり、横軸に位置をとって、光強度と位置との関係を示すグラフ図である。

【図7】縦軸に相対光強度をとり、横軸に位置をとって、光強度と位置との関係を示すグラフ図である。

【図8】(a)は本発明の第2の実施例に係る露光装置の評価方法において使用されるコマ収差測定用マスクの一部を示す平面図であり、(b)は(a)のB-B線に沿う方向の断面図である。

【図9】本発明の第3の実施例に係る露光装置の評価方法を示す断面図である。

【図10】(a)は本発明の第3の実施例に係る露光装

置の評価方法において使用されるコマ収差測定用マスクの一部を示す平面図であり、(b)は(a)のC-C線に沿う方向の断面図である。

【図11】縦軸に相対光強度をとり、横軸に位置をとって、相対光強度と位置との関係を示すグラフ図である。

【図12】縦軸に相対光強度をとり、横軸に位置をとって、相対光強度と位置との関係を示すグラフ図である。

【図13】縦軸に相対光強度をとり、横軸に位置をとって、相対光強度と位置との関係を示すグラフ図である。

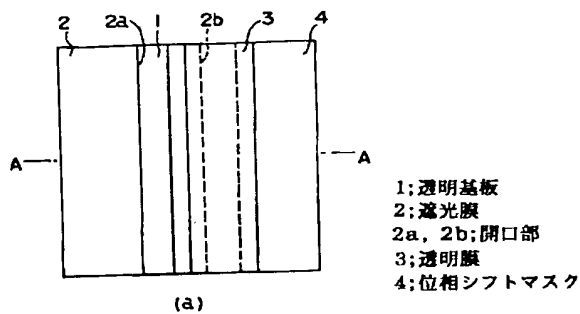
【図14】縦軸に開口パターン幅の寸法差をとり、横軸にコマ収差をとって、寸法差とコマ収差との関係を示すグラフ図である。

【図15】渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを示す断面図である。

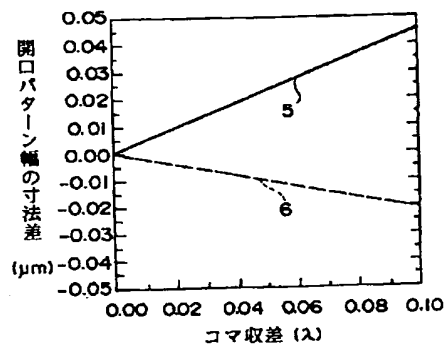
【符号の説明】

- 1, 11, 16, 21, 31; 透明基板
- 2, 12, 17, 22, 32; 遮光膜
- 2a, 2b, 12a, 12b, 12c, 17a, 17b, 32a, 32b, 32c; 開口部
- 3, 13, 24; 透明膜
- 4, 14, 19, 34a, 34b; マスク
- 10, 10a, 10b; 光
- 23a; 透明領域
- 23b; 遮光領域

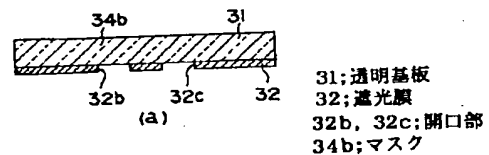
【図1】



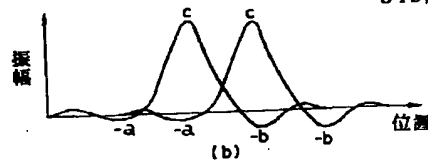
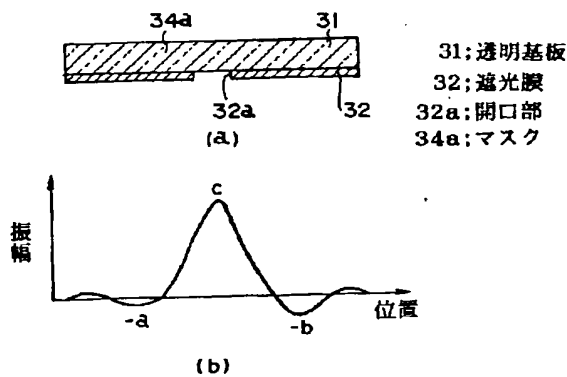
【図2】



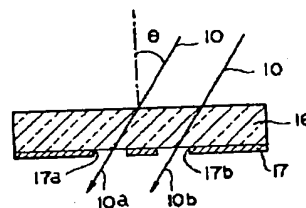
【図4】



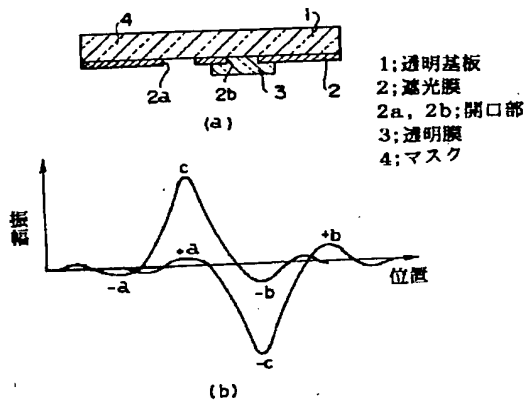
【図3】



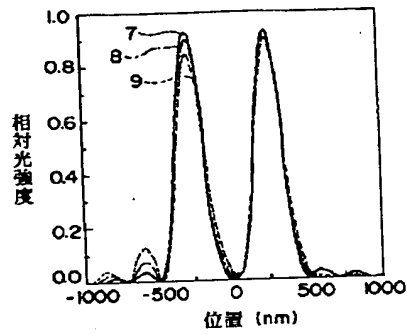
【図9】



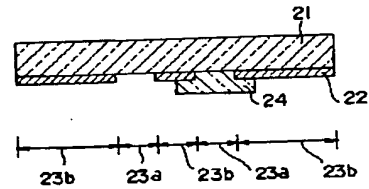
【図5】



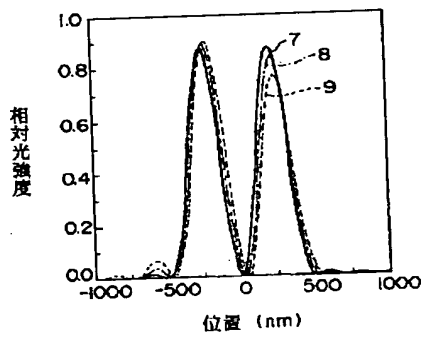
【図6】



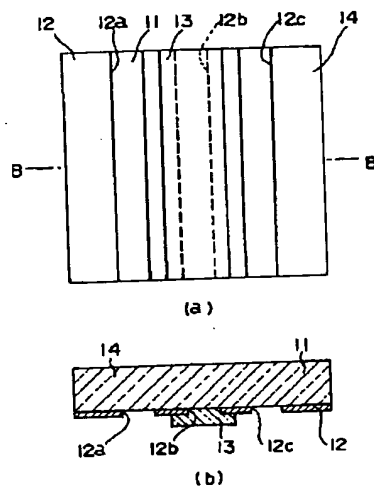
【図15】



【図7】



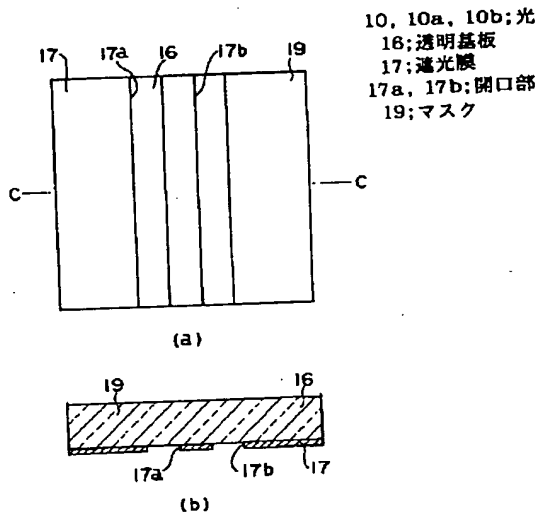
【図8】



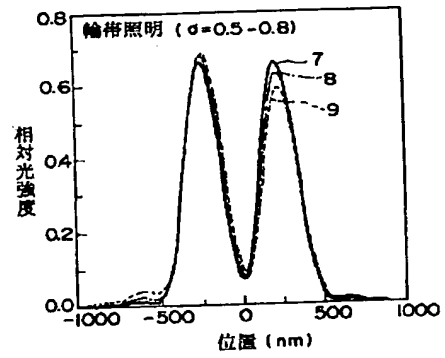
21: 透明基板
22: 遮光膜
23a: 透明領域
23b: 遮光領域
24: 透明膜

11: 透明基板
12: 遮光膜
12a, 12b, 12c: 開口部
13: 透明膜
14: マスク

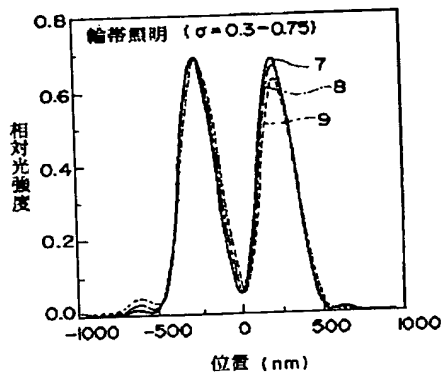
【図10】



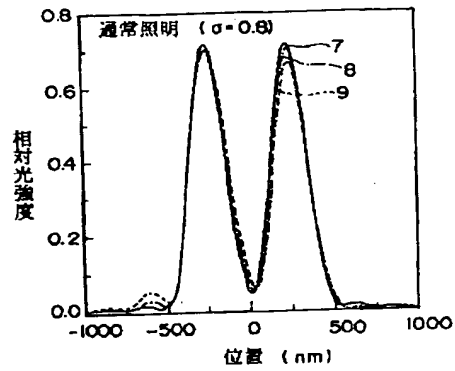
【図11】



【図12】



【図13】



【図14】

